

データフロー計算機システムに関する研究

著者	大庭 信之
号	1024
発行年	1985
URL	http://hdl.handle.net/10097/9760

氏 名	大 庭 信 之
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭和 61 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	データフロー計算機システムに関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 <u>重井 芳治</u>
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 重井 芳治 東北大学教授 城戸 健一 東北大学教授 野口 正一 東北大学教授 奈良 久 東北大学助教授 中村 維男

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

ノイマン型計算機の性能向上を支えてきた電子回路部品の物理的限界の認識や，ソフトウェア生産性の問題の発生により，1970年以降，ノイマン型計算機の基本構造そのものを疑問視する動きも見られるようになってきた。その中で新たな非ノイマン型計算機アーキテクチャとして生まれてきたのがデータフロー計算機である。ノイマン型計算機が逐次的な制御の流れを中心とするのに対し，データフロー計算機では並列的なデータの流れを中心に捉え，処理のシーケンスがデータ駆動原理に基づいて決定される。

現在データフロー計算機システムに関しては，各方面で精力的な研究・開発が進められてきており，試作システムもいくつか発表されている。また，応用面でも，大規模科学技術計算・リスト処理・信号処理・画像処理・データベースなどと広がりを見せている。

データフロー計算機の構成については，今まで数多くの提案がなされてきたが，従来のノイマン型計算機と比較したときに，データフロー計算機の最大の特徴はパケット通信を基礎としたシステムになっていることである。データフロー計算機システム内では，互いに独立・非同期に動作する機能ユニット間で，パケットを媒介とした情報交換が行われる。そのため，このパケット群をいか

にすばやく、かつスムーズにシステム内を流すことができるかという点が高性能データフロー計算機実現の重要な鍵になっている。

そこで本研究は、一貫して「パケットの流れ」という立場からデータフロー計算機システムを見ることによって、その問題点を明らかにし、データフロー計算機のすぐれた特長を十分生かすことができるシステムを構築することを目的として行われた。

第2章 データフロー計算機の動作原理

本章ではパケット通信の立場から、従来のデータフロー計算機システムの動作原理・基本アーキテクチャ、及び特徴について論述し、併せてデータフロー計算機実現上解決すべき問題点を以下のように明らかにし、本研究の動機及び問題導入を行なっている。

(1) データフロー計算機は、複数台のプロセッサの並列動作をデータ駆動で効率よく制御することにより、処理能力の向上を狙う非同期マルチプロセッサシステムであり、処理のシーケンスを命令間のデータ依存性に求めているため、ノイマン型計算機とは本質的に異なる実行制御機構を必要とする。データフロー制御の基本である命令の実行可能性の判断、即ちトークンの同期制御は本質的に非同期な動作であり、従ってこの機構を高速に実現するためには登録・削除が頻繁に繰り返される環境でのメモリの効率的動的管理、及び高速連想アクセス機能の実現が必須である。

(2) データフロー計算機システム内では、互いに非同期・独立に動作する機能ユニット間でパケットを媒介とした情報交換が行なわれているため、パケット通信をいかに高速、かつ効率よく行なうが、全体の性能に大きな影響を与える。高速なデバイス・ハードウェアを用いて通信システムを構築することは勿論であるが、その制御アルゴリズム・通信の局所性の利用などソフトウェア的な工夫も不可欠である。

以上、2点について3章以降で詳しく検討・考察し、議論する。

第3章 データフロー処理エレメント (DPE)

本章では、問題に内在する並列性を最大限に生かし、データフロープログラムを効率よく実行できるデータフロー計算機アーキテクチャの提案・開発・検討を行なっている。

最初に、単体でもデータフロー処理が行なえるデータフロー処理エレメント (DPE: Data flow Processing Element) の構成を呈示し、その上でのデータフロープログラムの処理過程について述べた。

次に、データフロー実行制御、特にトークンの待ち合わせ制御の高速化を実現する新しい連想アクセスの手法「順序付連鎖法」を提案し、詳しく解析した。本方式は、従来から用いられているハッシュ法を改良したもので、登録・検索キーをその大きさの順にリンクすることで処理の高速化を狙ったものである。さらに、待ち合わせ制御を並列に行なう「分散マッチング方式」を提案し、順序付連鎖法と併せて、必要メモリ量・メモリ利用効率・動的環境下での探索時間を指標として従来のデータフロー実行制御方式と比較し、有効性を論じた。

最後に、DPEの性能・各ユニットの動作状況を把握するためにGPSS (General Purpose

Simulation System)を用いてシミュレーションを行なった。その結果、データフロー計算機の実行制御の高速化によって、実際に並列処理を行なう演算ユニットが100%に近い稼働率で動作していることを確認し、提案したDPEのアーキテクチャ、データフロー実行制御方式の有効性を明らかにした。

第4章 ネットワーク構成データフロー計算機

本章では、第3章で述べたDPEを複数台ネットワーク結合したネットワーク結合データフロー計算機を提案し、様々な角度から検討を加えている。

まず、DPE間結合システムとしてパーフェクトシャフルに基づいたシャフルネットワークを提案し、その直径・実現コスト・平均プロセッサ間距離・拡張性などを他の代表的なネットワークと比較しながら詳細に検討した。その結果、シャフルネットワークを用いることでコストパフォーマンスの高いネットワーク構成データフロー計算機システムを構築できることを示した。

次に、データフロー計算機を従来のノイマン型のネットワーク結合マルチプロセッサシステムと比較したとき、データフロー計算機はその実行制御方法の違いから、関数・手続き呼出しとパケット通信と組み合わせることで、プロセッサ間通信をより高速に行えることを示した。特に、関数・手続きの先行駆動方式を導入することで、パケット通信の分解・組立制御、順序制御が大幅に簡略化できるという注目すべき結果が得られた。

また、データフロー計算機は各々のプロセッサが独立に動作し、お互いに非同期に交信するので、パケット経路制御・フロー制御が重要な問題になってくる。経路制御が不適切であるとパケットが必要以上の長いパスを通ったり、ピンポン・ループ現象が発生し、トラヒックの輻輳を招いてしまう。そこで本研究では、これを解決する手段として、ネットワーク全体を電気回路モデルに対応付けることによってパケットのルーティングを行なう新しい適応経路制御方式「ポテンシャルルーティング」を提案し、詳細に解析した。本方式の基本概念は、計算機ネットワークのプロセッサ及びリンクをそれぞれ電気回路網の節点、抵抗に対応付け、プロセッサ間の結合度を節点間のコンダクタンスで評価し、適切な伝送経路を見出そうとするものである。本方式は原則としてループ・ピンポン現象を生じないという優れた特長をもっており、またノード間の結合度、システム内のトラヒック状況が的確に評価できるので、特に重トラヒックまたは偏ったトラヒックをもつ環境下において、パケット伝送時間を従来の方式に比べて短縮できることをシミュレーションで確認した。本方式は、従来の主にグラフ理論分野から研究されてきた最適経路制御とは異なるアプローチの方法であり、データフロー計算機などのマルチプロセッサシステムに限らず、広く計算機ネットワークに応用できるものと思われる。

最後に、DPE間でどのように負荷分散を行なうか、その基本方針について触れ、続いてSOR法による連立方程式・FFT・クイックソートなどの具体的な例を用いて、本研究で提案したデータフロー計算機システム全体の性能を評価し、通信のオーバーヘッド・並列処理効率を中心として議論した。

以上、本データフロー計算機システムにおいて、並列性の高い問題に関しては、通信のオーバヘ

ッドを十分少なく抑えられ，効率よい並列処理の実現が期待できることを示した。また，処理する問題によっては，正味の演算時間に対して通信時間が無視できない場合もあり，特にトラヒックに空間的・時間的に偏りのある問題を処理するときは，本章で述べた適応経路制御方式が有効に働くものと考えられる。

第 5 章 結 論

本論文では，データフロー計算機システムの構築に関して，システム本来の高速データ処理を実現するために，主に「パケット通信」という概念を通してデータフロー計算機システムのアーキテクチャ，制御のあり方，メモリのアクセス方式，ネットワークを用いたシステム全体の構築法にひとつの方向を与えた。

審 査 結 果 の 要 旨

数学者 von Neumann によって考案された計算機は、逐次処理を基本とするために処理能力に限界が見えてきた。そこで、並列処理を自由に実現できるデータフロー型の多くの種類の計算機が研究されている。しかし、データフロー特有の実行制御と計算機内での情報伝達機構を中心に、解決しなければならない本質的な問題が存在する。著者はこの点に着目し、データの担い手トークンの同期をとるために、新しい連想アクセス方式による効率のよい実行制御を実現する方法を導いた。さらに、データフロー計算機システム内の情報伝達の有効手段を与えた。本論文はこれらの成果をまとめたもので、全文5章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、従来のデータフロー計算機の動作原理、基本アーキテクチャ、そして特徴を述べ、併せて解決すべき問題点を明らかにしている。

第3章では、データフロー計算機内の処理エレメントの構成法を示している。その中で実行制御部分の中核的存在であるトークンの待ち合わせメモリの新しいアクセス機構を提案している。メモリへの連想アクセスを実現するため、ハッシュ法を改良した順序付連鎖法を考案し、本方式の有効性を必要メモリ容量、探索時間、テーブル管理等の観点から従来のハッシュ法と比較し、評価している。その結果、本方式を用いることにより処理速度の向上が得られることを理論的に導き、またシミュレーションにより確認している。

第4章では、データフロー計算機を構築するために、第3章で提案したデータフロー処理エレメントを統合するためのネットワークの新たな構成法とその適用法について論じている。まず、新しいトポロジーを有するネットワークを提案し、データフロー型処理の立場から従来のネットワークと特性の比較を行なっている。次に、トークンを運ぶパケットの通信とデータフロー処理における関数呼出しとの関係を明らかにすると共に、新しい関数呼出し機構を導入し、さらに、パケット通信の有効な経路制御方式を提案している。その結果、ネットワークにおける処理高速化への貢献を示している。これらは実用上有益な成果である。第5章は結論である。

以上要するに本論文は、データフロー計算機の処理エレメントとそれらを結合するネットワークの両者について新たな構成法を提案し、これに基づくデータフロー計算機的设计法を確立したもので情報工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。